

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-100267

(43)Date of publication of application : 23.04.1993

(51)Int.Cl.

G02F 1/37

(21)Application number : 03-257404

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 04.10.1991

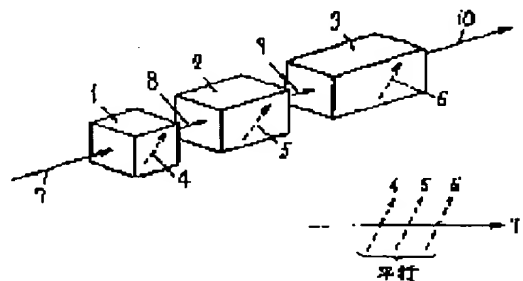
(72)Inventor : KURIYAMA KATSUHIRO  
NAKAI IZURU  
OKADA TOSHIHARU  
UESUGI YUJI

### (54) OPTICAL HIGHER HARMONICS GENERATION DEVICE

(57)Abstract:

PURPOSE: To convert high-order higher harmonics of a laser beam with high efficiency by using nonlinear optical crystal.

CONSTITUTION: A light wavelength conversion device is constituted by arranging plural nonlinear optical crystal bodies 1-3 at the position where an incident light passes through in multiple stages, which gradually increases in thickness in the passing direction of laser beams 7-10, fixing the nonlinear optical crystal bodies 1-3 by a fixing jig so that they do not shift in relative position, and varying the angle of the fixing jig to the laser beams 7-10 by external operation. Consequently, the efficiency of conversion of higher harmonics by a light wavelength converting element is increased and the phase matching angle range and phase matching temperature range are increased.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-100267

(43)公開日 平成5年(1993)4月23日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

G 0 2 F 1/37

識別記号

庁内整理番号

7246-2K

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数4(全 8 頁)

(21)出願番号 特願平3-257404

(22)出願日 平成3年(1991)10月4日

(71)出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 栗山 勝裕

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72)発明者 中井 出

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72)発明者 岡田 俊治

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(74)代理人 弁理士 小鍛冶 明 (外2名)

最終頁に続く

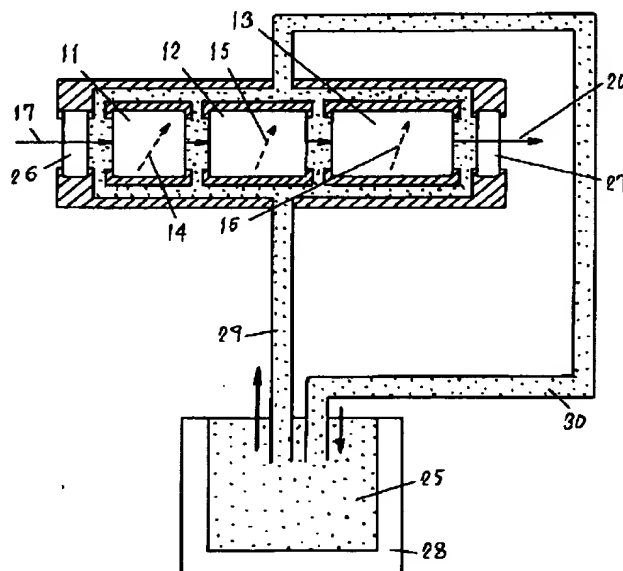
(54)【発明の名称】 光高調波発生装置

(57)【要約】

【目的】 非線形光学結晶を用いて、レーザービームの高次高調波を高効率で変換する。

【構成】 複数の非線形光学結晶1を入射光が多段に通過する位置に設置し、それぞれの非線形光学結晶1のレーザービーム通過方向の厚さが、順次厚くなる各々の非線形光学結晶の相対位置が変化しないように固定治具にて保持し、固定治具をレーザービームに対して外部からの操作により角度変化させる構成を特徴とする光波長変換装置。

【効果】 光波長変換素子の高調波の変換効率を増大させるとともに、位相整合角度範囲ならびに位相整合温度範囲をも増大させる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の非線形光学結晶（光波長変換素子）を、レーザビームの基本波長がそれぞれ順次に通過する位置に設置する手段と、それぞれの非線形光学結晶のレーザビームの通過方向の厚さが、順次厚くなることを特徴とする手段を備えた光高調波発生装置。

【請求項2】 複数の非線形光学結晶のそれぞれの結晶方位軸どおしが、位相整合角度の半値全幅以下の角度だけずらした位置に設置する構成を特徴とする請求項1記載の光高調波発生装置。

【請求項3】 複数の非線形光学結晶の結晶軸の相対位置が変化しないように固定治具にて保持し、固定治具をレーザビームに対して外部からの操作により角度変化させる構成を特徴とする請求項1または2記載の光高調波発生装置。

【請求項4】 複数の非線形光学結晶の周囲に温度制御をした媒体を流すことにより、非線形光学結晶の温度を制御する構成を特徴とする請求項3記載の光高調波発生装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、非線形光学結晶を用いて、レーザビームの高次高調波を高効率で変換・発生させる光高調波発生に関するものである。

## 【0002】

$$\eta = C \frac{\omega^2 \times d^2}{n_1^2 \times n_2^2} I^2 \times L^2 \frac{\sin^2(\Delta K \cdot L / 2)}{(\Delta K \cdot L / 2)^2}$$

$\eta$  第二高調波光変換効率

$C$  定数

$\omega$  基本波長の振動数

$d$  非線形光学定数

$I$  基本波長のレーザビーム強度

$L$  非線形光学結晶のレーザビームの通過方向の厚さ

$n_1$  基本波長の非線形光学結晶に対する屈折率

$n_2$  第二高調波光の非線形光学結晶に対する屈折率

$\Delta K$  非線形分極波の波数と第二高調波の波数との差

【0005】（数1）によれば変換効率は（ $I$  [W/cm<sup>2</sup>]）の2乗に比例するが、非線形光学結晶が厚く変換効率が大きい（数十%）場合には、変換効率は基本波長のレーザビーム強度（ $I$  [W/cm<sup>2</sup>]）の平方根に比例する。すなわち基本波長のレーザビーム強度が大きいほど非線形光学結晶による第二高調波光の変換効率が大きくなる。

【従来の技術】 近年、レーザビームを高次の高調波に変換して波長を薄くすることにより、集光度を上げて高密度の計測、微細加工への応用、さらに、被加工物の吸収特性に合わせて波長を選択し、加工する方法が行われてきている。

【0003】 以下に従来の非線形光学結晶を用いた光高調波発生方法について説明する。図7は、従来の単一の非線形光学結晶を用いた光高調波発生装置の概略構成の一例を示すものである。図7中、31、32および33は非線形光学結晶タイプIで、34、35および36はそれぞれの非線形光学結晶のZ方向の結晶軸である。結晶のZ軸34、35、36をすべて入射レーザビーム37に位相整合する角度に設置する。入射レーザビーム37は非線形光学結晶31により一部第二高調波光に変換されレーザビーム38になる。レーザビーム38の第二高調波光は非線形光学結晶32を透過し、レーザビーム38の基本波長は非線形光学結晶32を通過する間に第二高調波光に変換されレーザビーム39になる。レーザビーム39の第二高調波光は非線形光学結晶33を透過し、レーザビーム39の基本波長は非線形光学結晶33を通過する間に第二高調波光に変換されレーザビーム40になる。非線形光学結晶の変換効率は、変換効率が小さい場合には（数1）により決定される。

## 【0004】

## 【数1】

【0006】 従って、図7において、レーザビーム37とレーザビーム38の基本波長のレーザビーム強度を比較すると非線形光学結晶31により第二高調波光を発生した分だけレーザビーム38の基本波長は小さくなるので非線形光学結晶32における変換効率は小さくなる。同様に、非線形光学結晶33の変換効率は非線形光学結晶32のそれよりも小さくなる。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来のように同一厚さの非線形光学結晶を用いて高調波発生を行った場合レーザービームの進行方向の非線形光学結晶の順番で変換効率が小さくなる。そこで、変換効率を大きくするために入射レーザービーム37のレーザービーム強度を大きくする必要があるが、あるしきい値以上のレーザービーム強度を入射すると、最初にレーザービーム37が入射する非線形光学結晶37に光損傷を与えてしまうため、大きな変換効率を得るのが困難であった。

【0008】本発明は上記問題に鑑み、複数の非線形光学結晶を用いて、光波長変換素子の高調波の変換効率を増大させるとともに、位相整合角度範囲ならびに位相整合温度範囲をも増大させることができる光高調波発生方法を提供する装置である。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するための本発明の波長変換装置は、複数の非線形光学結晶（光波長変換素子）を、レーザービームの基本波長がそれぞれ順次に通過する位置に設置する手段と、それぞれの非線形光学結晶のレーザービームの通過方向の厚さが、異なることを特徴とする手段を備えた構成にて、高調波を発生することを特徴とする。

## 【0010】

【作用】本発明は上記のように構成した装置によって、光波長変換素子の高調波の変換効率を増大させるとともに、位相整合角度範囲ならびに位相整合温度範囲をも増大させることができる。

## 【0011】

## 【実施例】

（実施例1）以下、本発明の一実施例における、高調波発生装置を使用した第二高調波発生方法について、図面を参照しながら説明する。

【0012】図1は、非線形光学結晶としてDKDP結晶タイプI（クリティカル位相整合）を用いて第二高調波光の発生を行う場合の構成を示す。第1図において、1、2および3は非線形光学結晶タイプIで、4、5および6はそれぞれの非線形光学結晶のZ方向の結晶軸である。結晶のZ軸4、5、6をすべて入射レーザービーム7に位相整合する角度に設置する。入射レーザービーム7は非線形光学結晶1により一部第二高調波光に変換されレーザービーム8になる。レーザービーム8の第二高調波光は非線形光学結晶2を透過し、レーザービーム8の基本波長は非線形光学結晶2を通過する間に第二高調波光に変換されレーザービーム9になる。レーザービーム9の第二高調波光非線形光学結晶3を透過し、レーザービーム9の基本波長は非線形光学結晶3を通過する間に第二高調波光に変換されレーザービーム10になる。ここで、非線形光学結晶1の通過方向の厚さが図5における非線形光学結晶1の通過方向の厚さと等しいものとし、また、非線

形光学結晶2の通過方向の厚さが非線形光学結晶1の通過方向の厚さより厚く、非線形光学結晶3の通過方向の厚さが非線形光学結晶2の通過方向の厚さより厚いものとする。数式1により、第二高調波光の変換効率は非線形光学結晶の通過方向の厚さの2乗に比例することがわかっている。この構成により、図1における非線形光学結晶2の変換効率が図7の非線形光学結晶32よりも大きくなり、また、図1における非線形光学結晶3の変換効率が図7の非線形光学結晶33よりも大きくなり、非線形光学結晶を通過したあとのレーザービームの基本波長の減少分を非線形光学結晶の通過方向の厚さを厚くすることで、総合の第二高調波光の変換効率を大きくすることができる。

【0013】（実施例2）以下、本発明の第2の実施例における、高調波発生装置を使用した第二高調波発生方法について、図面を参照しながら説明する。

【0014】図2は、非線形光学結晶としてDKDP結晶タイプ1（クリティカル位相整合）を用いて第二高調波光の発生を行う場合の構成を示す。図2において、11、12および13は非線形光学結晶タイプIで、14、15および16はそれぞれの非線形光学結晶のZ方向の結晶軸である。非線形光学結晶12のレーザービームの通過方向の厚さを非線形光学結晶11のレーザービームの通過方向の厚さの1.2倍、非線形光学結晶13のレーザービームの通過方向の厚さを非線形光学結晶11のレーザービームの通過方向の厚さを1.3倍とする。入射レーザービーム17は非線形光学結晶11により一部第二高調波光に変換されレーザービーム18になる。レーザービーム18の第二高調波光非線形光学結晶12を透過し、レーザービーム18の基本波長は非線形光学結晶12を通過する間に第二高調波光に変換されレーザービーム19になる。レーザービーム19の第二高調波光非線形光学結晶13を透過し、レーザービーム19の基本波長は非線形光学結晶13を通過する間に第二高調波光に変換されレーザービーム20になる。

【0015】図3は、一定の温度での非線形光学結晶11に入射するレーザービームの角度に対する第二高調波光の変換効率を示したものの、つまり位相整合角度範囲を示したものである。図3において、横軸は非線形光学結晶11に入射するレーザービーム17の角度を示し、縦軸は第二高調波光の変換効率を示したものである。図2においての最大変換効率は25%で、最大変換効率になる角度が位相整合角度（縦実線21で示す）であり、位相整合角度21より角度がずれるに従って変換効率は減少する。なお、最大変換効率の半分の効率（12.5%）の横実線22と変換効率の曲線との交点をAおよびBとする場合、A-B間の角度範囲を位相整合角度の半値全幅と一般に定義されている。

【0016】さらに、非線形光学結晶に入射するレーザービームの角度を位相整合角度に合わせて一定とした場合

の、温度変化に対する第二高調波光の変換効率を示したもの、つまり位相整合温度範囲についても、図2のような曲線を描く(但し、この場合、横軸の単位は温度となる)。

【0017】ここで、これら3つの結晶に対して入射レーザービーム17の角度が変化した場合の、角度変化に対する総合変換効率(レーザービーム17の入力に対するレーザービーム20の第二高調波光出力の割合)を図4(a)に示す。

【0018】これに対して、結晶のZ軸5は結晶軸4に対して位相整合角度の半値全幅の0.35倍の角度だけずらした位置に設置したものとし、結晶のZ軸6は結晶のZ軸5に対して同方向に半値全幅の0.6倍ずらしたものである場合の、これら3つの結晶に対して入射レーザービーム17の角度が変化した場合の、角度変化に対する総合変換効率(レーザービーム2の入力に対するレーザービーム20の第二高調波光出力の割合)を図4(b)に示す。

【0019】なお、この場合も非線形光学結晶12のレーザービームの通過方向の厚さを非線形光学結晶11のレーザービームの通過方向の厚さの1.2倍、非線形光学結晶13のレーザービームの通過方向の厚さを非線形光学結晶11のレーザービームの通過方向の厚さの1.3倍とし、結晶の位相整合角度範囲が通過方向の厚さを厚さの平方根に反比例して狭くなることも考慮している。図4(a)と図4(b)とを比較してわかるように、それぞれの非線形光学結晶を通過後の基本波光が小さくなる代わりに、次に通過する非線形光学結晶の結晶軸をずらすことにより、第二高調波光の総合変換効率が大きくなることがわかる。

【0020】(実施例3)以下、本発明の第3の実施例における、高調波発生装置を使用した第二高調波光発生方法について、図面を参照しながら説明する。

【0021】図5は、本発明の第2の実施例2における非線形光学結晶11、12および13を、入射レーザービーム17に対する相対位置が変化しないように固定治具23にて保持したものである。さらに、固定治具は入射レーザービーム17に対して外部からの操作により角度変化させる構造となっている。実施例2においては、非線形光学結晶11、12および13を固定しレーザービーム17の非線形光学結晶1に対する入射角度を変化させた場合の、位相整合する角度の範囲ならびに位相整合する温度の範囲を広くできることを証明した。本実施例3においては、入射レーザービーム2の方向を一定とし固定治具23のレーザービーム2に対する角度を変化させる構造により、実施例1の図4(a)および(b)に示すグラフと同様の効果が生まれる。

【0022】この構成によると、複数の非線形光学結晶の結晶軸を所定の角度だけあらかじめずらした状態で固定治具に相対位置が変化しないように設置しておくこと

により、レーザービームの第二高調波を発生するに当たり、固定治具の調整のみで変換効率を調節できるため、変換効率の制御が簡単になる。

【0023】また、非線形光学結晶の結晶軸の角度のずれは数mrad~数十mradと小さいが、結晶の加工精度で調節できる値である。

【0024】また、各非線形光学結晶が固定治具に対して移動しないものとしたが、固定治具に対して移動量を調節し固定できるものでも良い。

【0025】(実施例4)以下、本発明の第4の実施例における高調波発生装置を使用した第二高調波光発生方法について、図面を参照しながら説明する。

【0026】図6は、本発明の第4の実施例4における、固定治具23に改良を加えた固定治具24に固定された非線形光学結晶11、12および13の周囲に温度制御をした媒体(液体もしくは気体)25を流すことにより、非線形光学結晶の温度を制御する構成を示したものである。図7において、26および27は基本波光および第二高調波光に対して透明かつ反射防止膜を施した窓である。図6において、入射レーザービーム17が非線形光学結晶11を通過した後、再び非線形光学結晶12に入射するが、非線形光学結晶12は位相整合の結晶軸15を非線形光学結晶11の結晶軸14に対して、位相整合角度の半値全幅以下の角度だけずらした位置に設置しており、同様に非線形光学結晶13結晶軸16は結晶軸15に対して、位相整合角度の半値全幅以下の角度だけずらした位置に設置している。窓26および窓27は固定治具24に固定され、接続部は媒体25が漏れることのないように密着させており、レーザービーム17の入射側より窓26、非線形光学結晶11、非線形光学結晶12、非線形光学結晶13、窓27の順に並びそれぞれの間に温度制御した媒体が流れるように隙間が設けられている。媒体は、加熱・冷却装置28により温度制御され、固定治具24の内部と循環できるように配管29、30にて接続されている。一定温度に保たれた媒体を非線形光学結晶11、12および13の周囲に絶えず流すことにより、非線形光学結晶の温度を一定にさせることができ、安定な第二高調波光の変換効率を得られる。

【0027】

【発明の効果】本発明は上記のように構成した装置によって、光波長変換素子通過後の出射レーザービーム中の第二高調波光に変換されなかった基本波光を再度同一の光波長変換素子に通過させて第二高調波光に変換するため、入射レーザービームのエネルギーに対する第二高調波光の変換効率を大きくすることができ、さらに、位相整合する角度範囲ならびに温度範囲を広くすることにより、安定な変換効率を維持できる。

【0028】また、実施例1~4において、非線形光学結晶としてタイプI(クリティカル位相整合)を使用した、非線形光学結晶としてDKDP結晶タイプII(ノ

ンクリティカル位相整合)を使用しても同様の効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明における、非線形光学結晶3個を用いて非線形光学結晶のレーザービームの通過方向の厚さが、レーザービームの通過する順に厚くなる場合の構成図

【図2】本発明の実施例における、3つの非線形光学結晶の結晶軸どおしを平行に設置した、もしくは、位相整合角度の半値全幅以下だけずらして設置した場合の構成図

【図3】本発明の実施例1～5もしくは従来の実施例における、単一の非線形光学結晶の位相整合角度範囲のグラフ

【図4】(a)は本発明の実施例における、3つの非線形光学結晶の結晶軸どおしを平行に設置した場合の位相整合角度範囲のグラフ

(b)は本発明の実施例における、それぞれ3つの非線形光学結晶の結晶軸どおしを位相整合角度の半値全幅以下だけずらした場合の位相整合角度範囲のグラフ

【図5】本発明における非線形光学結晶2個を固定治具にて保持し、固定治具をレーザービームに対して外部からの操作により角度変化させる場合の構成図

【図6】本発明における非線形光学結晶2個を固定治具にて保持し、非線形光学結晶の周囲に温度制御をした媒体を流すことにより、非線形光学結晶の温度を制御する場合の構成図

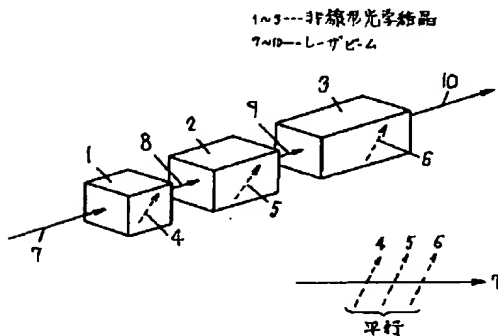
【図7】非線形光学結晶3個を用いて非線形光学結晶のレーザービームの通過方向の厚さがすべて等しい場合の従来例の構成図

【符号の説明】

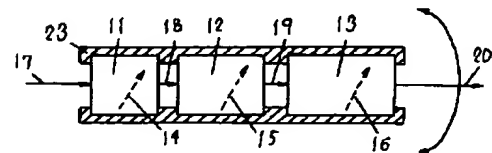
- 1 非線形光学結晶
- 2 非線形光学結晶
- 3 非線形光学結晶
- 4 非線形光学結晶1のZ軸
- 5 非線形光学結晶2のZ軸

- 6 非線形光学結晶3のZ軸
- 7 レーザビーム (基本波光)
- 8 レーザビーム (基本波光と第二高調波光)
- 9 レーザビーム (基本波光と第二高調波光)
- 10 レーザビーム (基本波光と第二高調波光)
- 11 非線形光学結晶
- 12 非線形光学結晶
- 13 非線形光学結晶
- 14 非線形光学結晶11のZ軸
- 15 非線形光学結晶12のZ軸
- 16 非線形光学結晶13のZ軸
- 17 レーザビーム (基本波光)
- 18 レーザビーム (基本波光と第二高調波光)
- 19 レーザビーム (基本波光と第二高調波光)
- 20 レーザビーム (基本波光と第二高調波光)
- 21 位相整合角度
- 22 位相整合角度の半値全幅
- 23 非線形光学結晶の固定治具
- 24 非線形光学結晶の固定治具
- 25 媒体 (液体もしくは気体)
- 26 窓
- 27 窓
- 28 加熱・冷却装置
- 29 配管
- 30 配管
- 31 非線形光学結晶
- 32 非線形光学結晶
- 33 非線形光学結晶
- 34 非線形光学結晶31のZ軸
- 35 非線形光学結晶32のZ軸
- 36 非線形光学結晶33のZ軸
- 37 レーザビーム (基本波光)
- 38 レーザビーム (基本波光と第二高調波光)
- 39 レーザビーム (基本波光と第二高調波光)
- 40 レーザビーム (基本波光と第二高調波光)

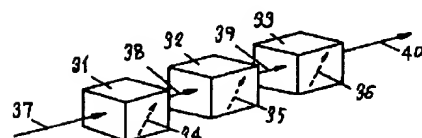
【図1】



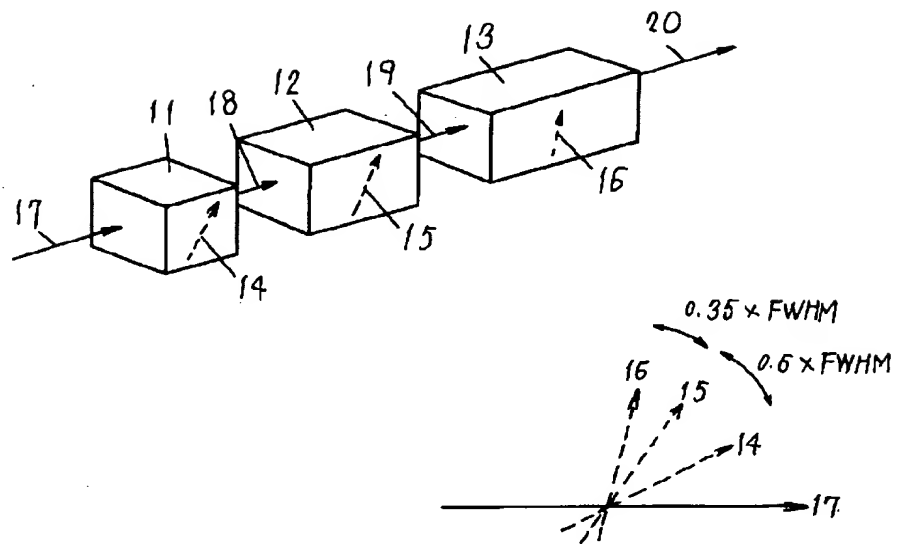
【図5】



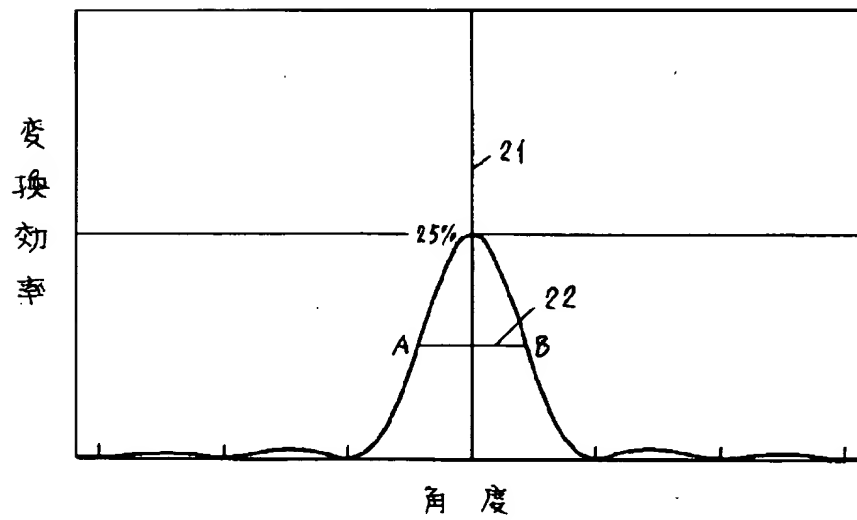
【図7】



【図2】



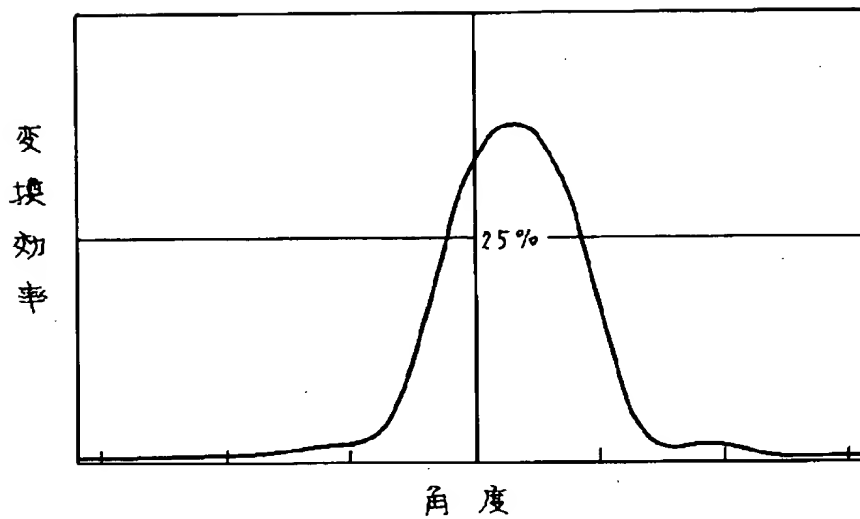
【図3】



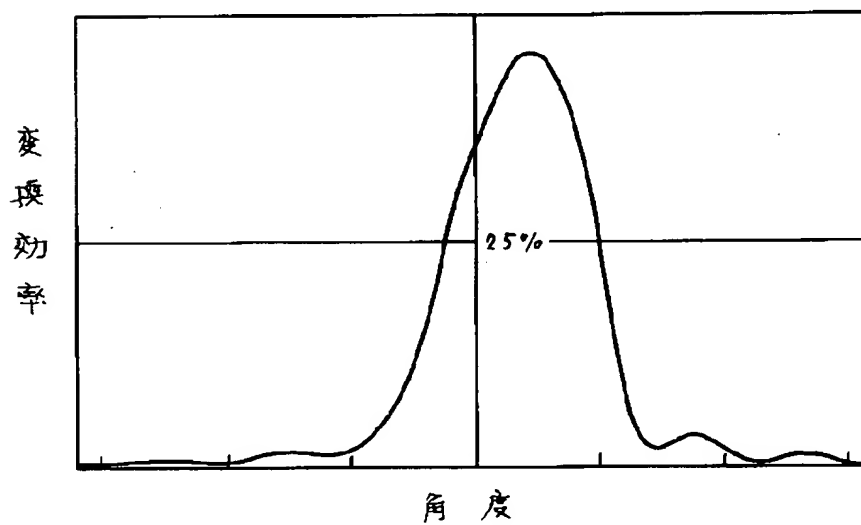


【図4】

(a)



(b)



(72)発明者 植杉 雄二

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内